



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



IGP

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Programa Presupuestal por Resultados N° 068
"Reducción de vulnerabilidad y atención de
emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación
del riesgo de desastres"

BOLETÍN TÉCNICO



Foto: UDEP

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

Intensificación del viento sobre el mar peruano durante eventos El Niño

VOL. 6 N° 7 JULIO 2019

Contenido

3 - 4

Introducción

5 - 8

Artículo de Divulgación Científica

9 - 12

Avances científicos

13 - 17

Resumen del Informe Técnico

18 - 19

Comunicado Oficial del ENFEN

Créditos

Programa Presupuestal N° 068 "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación del riesgo de desastres".
Actividad: "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño".

Lucía Ruíz
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo IGP

Danny Scipión
Director Científico IGP

Yamina Silva
Directora de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Kobi Mosquera
Responsable de la elaboración del Boletín
El Niño - IGP

Equipo científico: Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura, Gerardo Rivera

Edición: Kobi Mosquera
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Piura durante El Niño de 1998.
Foto: UDEP

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
IV Etapa - Ate
Teléfono (511) 3172300

Impreso por:
INVERSIONES IAKOB S.A.C.
Telf. (051-1) 2963911
Dirección: Av. Iquitos 1481 – La Victoria

Lima, setiembre de 2019

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional
del Perú N° 2014-02860

Introducción

El Programa Presupuestal por Resultados (PPR) es una estrategia de gestión pública que vincula la asignación de recursos a productos y resultados medibles a favor de la población. Dichos resultados se vienen implementando progresivamente a través de los programas presupuestales, las acciones de seguimiento del desempeño sobre la base de indicadores, las evaluaciones y los incentivos a la gestión, entre otros instrumentos que determina el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) a través de la Dirección General de Presupuesto Público, en colaboración con las demás entidades del Estado.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres". A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres", que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceáno-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan la toma de decisiones a autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño", la cual incluye la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos de pronóstico, así como el desarrollo de estudios científicos que fortalecerá en forma continua la capacidad para este fin.

El presente Boletín tiene como objetivo difundir conocimientos científicos, avances científicos y noticias relacionadas a este tema, con la finalidad de mantener informados a los usuarios y proporcionarles las herramientas para un uso óptimo de la información presentada. Además, comparte una versión resumida del Informe Técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068. Dicho Informe contiene información actualizada operativamente y proporcionada por el IGP como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será diseminada a los usuarios. Se advierte que, en caso de discrepancias, el Informe Técnico del ENFEN prevalecerá.

Los resultados de esta actividad están disponibles en: <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4594>



El Instituto Geofísico del Perú es una institución pública al servicio del país, adscrito al Ministerio del Ambiente, que genera, utiliza y transfiere conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines, forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

En el marco de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), el IGP rutinariamente aporta información experta sobre modelos y pronósticos relacionados con El Niño y fenómenos asociados.



ENFEN

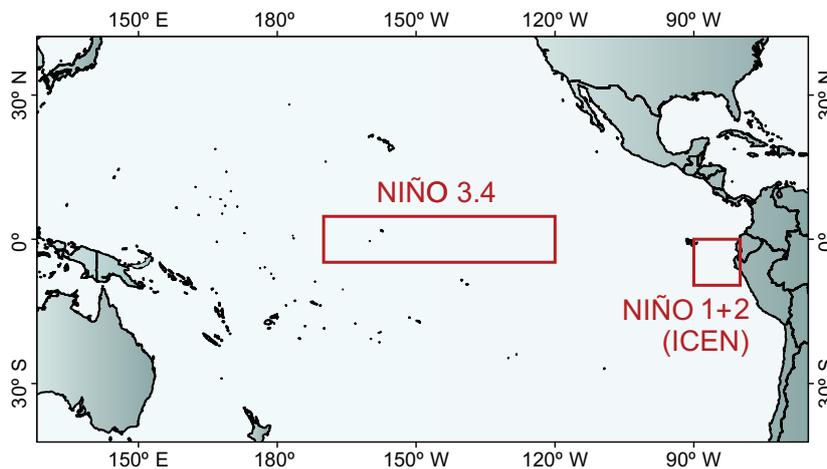
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Esta Comisión es de naturaleza permanente, depende del Ministerio de la Producción y tiene por objeto la emisión de informes técnicos de evaluación y pronóstico de las condiciones atmosféricas, oceanográficas, biológico-pesqueras, ecológico marinas e hidrológicas que permitan mejorar el conocimiento del Fenómeno "El Niño" para una eficiente y eficaz gestión de riesgos (Decreto Supremo N° 007-2017-PRODUCE).

Para este fin, el ENFEN realiza el pronóstico, monitoreo y estudio continuo de las anomalías del océano y la atmósfera del mar peruano y a nivel global, a través de la elaboración de estudios y análisis científicos basados en la información proveniente de diversas redes de observación y modelos de variables oceanográficas, meteorológicas, hidrológicas y biológico-pesqueras. También, emite mensualmente pronunciamientos que son preparados colegiadamente, acopiando la mejor información científica disponible y de competencia de cada institución respecto de su sector y genera la información técnica para su difusión a los usuarios.

Además, un objetivo central del ENFEN es estudiar el Fenómeno El Niño, con el fin de lograr una mejor comprensión del mismo, poder predecirlo y determinar sus probables consecuencias, lo cual se desarrolla mediante la investigación científica.

El ENFEN es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados



El mapa muestra las dos regiones que definen los principales índices de temperatura superficial del mar utilizadas para monitorizar El Niño y La Niña. La región Niño 1+2 (90°-80°W, 10°S-0°), en la que se basa el Índice Costero El Niño (ICEN), se relaciona con impactos en la costa peruana, mientras que la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W) se asocia a impactos remotos en todo el mundo, incluyendo los Andes y Amazonía peruana.

Intensificación del viento sobre el mar peruano durante eventos El Niño



Dr. Adolfo Chamorro

INVESTIGADOR CIENTÍFICO DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (IMARPE)

Doctor en Ciencias Ambientales de la Sorbonne Université de Francia y Físico con grado de Magíster de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Actualmente es investigador científico en la Dirección de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático (DGIOCC) del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Es experto en modelado numérico de la atmósfera marina-costera. Su investigación está enfocada en la dinámica del viento costero en el sistema de afloramiento peruano bajo escenarios cálidos como El Niño y el cambio climático regional.

INTRODUCCIÓN

En el sistema de afloramiento costero del Perú, así como en otros sistemas de bordes orientales, el viento costero, que fluye hacia el ecuador sobre la superficie del mar, es el principal responsable del ascenso de aguas frías y ricas en nutrientes desde las profundidades del mar hacia la superficie, dando soporte a uno de los ecosistemas marinos más productivos del mundo (Chavez et al., 2008).

Durante los eventos denominados El Niño canónico o el Niño típico, ocurre un incremento anómalo de la temperatura superficial del mar (TSM) frente a las costas de Ecuador y Perú, y el afloramiento de las aguas frías disminuye (p.ej. Colas et al., 2008; Espinoza-Morriberón et al., 2017) a pesar de que se observa una intensificación del viento frente a la costa peruana (Enfield, 1981; Kessler, 2006). Este incremento local del viento parece paradójico, puesto que a gran escala

los vientos alisios se debilitan en la región ecuatorial y subtropical (Bjerknes, 1996; Rahn et al., 2012). La Figura 1a muestra la distribución espacial de las anomalías del viento frente a la costa peruana, promediados entre noviembre de 1997 y febrero de 1998, durante uno de los eventos El Niño más fuertes observados hasta la fecha. Las anomalías positivas fueron máximas cerca de la costa y disminuyeron mar adentro, alcanzando $\sim 1.5 \text{ m s}^{-1}$ que representa un incremento de $\sim 40\%$ con respecto a las condiciones climatológicas (Figura 1b).

En este artículo se presentan las hipótesis planteadas sobre los posibles mecanismos que estarían provocando la intensificación del viento, y también se hace un resumen de los resultados de las investigaciones más recientes respecto a este tema, que permiten develar este contra-intuitivo comportamiento del viento, frente a la costa peruana durante los eventos El Niño.

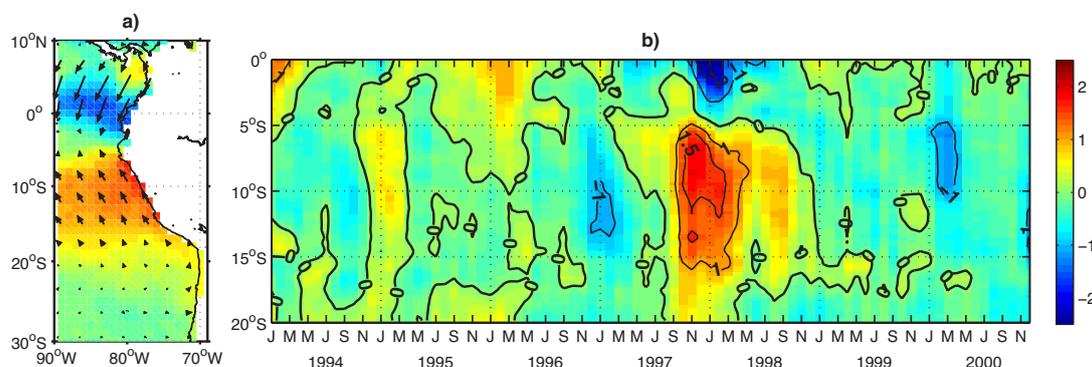


Figura 1. Anomalía del viento (en m.s^{-1}): a) frente a la costa sudamericana durante condiciones El Niño (promedio entre noviembre de 1997 y febrero de 1998) y b) frente a la costa peruana en el periodo 1994-2000. Valores positivos indican anomalías del viento hacia el ecuador (Chamorro et al., 2018).

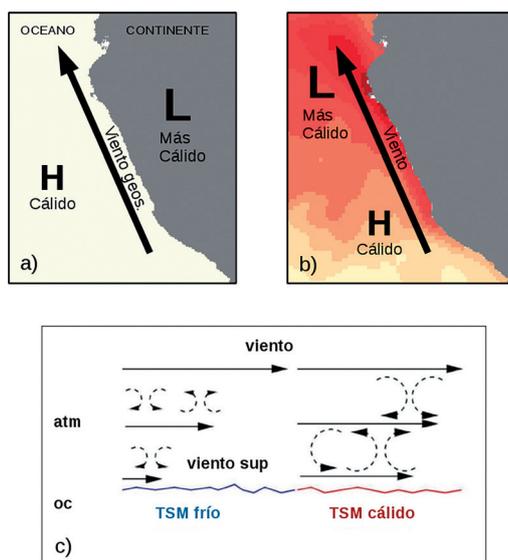


Figura 2. Diagramas de los posibles mecanismos de intensificación del viento costero durante El Niño: a) Contraste térmico tierra-mar, b) Gradiente norte-sur de la TSM, y c) Mezcla vertical turbulenta (Adaptación de Colas et al., 2008b).

HIPÓTESIS SOBRE LOS MECANISMOS DE INTENSIFICACIÓN DEL VIENTO

Estudios previos sugieren que la intensificación del viento podría deberse a los siguientes mecanismos locales:

1. Contraste térmico tierra-mar (Figura 2a): el fortalecimiento de la diferencia de presión atmosférica tierra-mar en la costa, manteniendo un viento geostrofico, a causa de que la superficie de la tierra tendería a calentarse más que la del mar durante El Niño; esto debido al incremento local del efecto invernadero inducido por el incremento de la humedad (Bakun et al., 2010) y/o por la intensa radiación solar asociada a la reducción de la nubosidad en la costa durante El Niño (Enfield, 1981).

2. Gradiente Norte-Sur de la TSM (Figura 2b): el reforzamiento del gradiente de presión atmosférica Norte-Sur sobre la superficie del mar, el cual es originado por el mayor incremento de la temperatura en la costa Norte, que en el Sur durante un evento El Niño (Kessler, 2006). Lindzen & Nigan (1987) mostraron que los vientos en superficie sobre el Pacífico tropical pueden ser forzados por gradientes de la TSM a una relativa gran escala.

3. Mezcla vertical turbulenta (Figura 2c): el aumento de la turbulencia atmosférica, a consecuencia del calentamiento de la superficie del océano durante El Niño, podría fortalecer la mezcla vertical del *momentum* de las capas altas de la atmósfera con las capas bajas sobre la superficie del océano, fomentando así la intensificación del viento en superficie (p.ej. Wallace et al., 1989).

Además de los mecanismos locales, los cambios en la circulación atmosférica de gran escala, impactada por El Niño, también pueden tener un efecto importante sobre los vientos costeros. Por ejemplo, Dewitte et al. (2011) mostró que la variabilidad intraestacional (es decir, periodos que van de 10 a 60 días) del viento en la costa central (~15°S) fue forzada por disturbios migratorios a través del Anticiclón del Pacífico Sur (APS). Rahn et al. (2012) mostró que el APS estuvo débil durante El Niño, produciendo el debilitamiento del viento en la costa central de Chile.

RESULTADOS DE INVESTIGACIONES RECIENTES

Belmadani et al. (2014), usando un conjunto de simulaciones con un modelo global de relativa alta resolución (~50 km) en la región Perú-Chile, encontraron que el contraste térmico tierra-mar (dT/dx) se incrementa en la costa peruana en escenarios de cambio climático: a 8°S, dT/dx fue $\sim 4.5 \times 10^{-2} \text{ K km}^{-1}$ en condiciones del clima de la época preindustrial (PI), y alcanza $\sim 6.5 \times 10^{-2} \text{ K km}^{-1}$ en condiciones de un clima cálido (cuadruplicación de la concentración de CO₂: 4xCO₂), incrementándose en ~40% (ver Fig. 8c en Belmadani et al., 2014). No obstante de este fuerte incremento, el viento a lo largo de la costa se debilitó moderadamente (~10%) en Perú. Esta reducción fue conducida por el debilitamiento del gradiente de presión a lo largo de la costa asociado con el desplazamiento del APS hacia el polo. Este resultado sugiere que el contraste térmico tierra-mar podría tener un papel secundario en la dinámica del viento costero.

Por otro lado, Oerder et al. (2016), usando datos satelitales y un modelo regional acoplado océano-atmósfera de alta resolución (~9 km), encontraron que las anomalías positivas del viento en superficie, las cuales están asociadas a la presencia de anomalías de mesoescala de la TSM frente a la costa peruana, son principalmente causadas por la mezcla turbulenta de *momentum*, y que las anomalías del gradiente de presión son despreciables debido al efecto de contrapresión que frena los movimientos ascendentes, que son fuertes en el caso de una inversión de temperatura sobre la Capa Límite Planetaria (CLP; Hashizume et al., 2002). Este resultado indica que la mezcla vertical turbulenta también podría explicar las anomalías positivas del viento durante El Niño, mientras que el gradiente de presión tendría un rol menor.

En un trabajo más reciente, Chamorro et al. (2018) usaron un modelo atmosférico regional (WRF; Skamarock & Klemp, 2008) para estudiar los procesos físicos que provocaron la intensificación del viento sobre el mar peruano durante El Niño 1997-1998. Una simulación realizada para el periodo 1994-2000

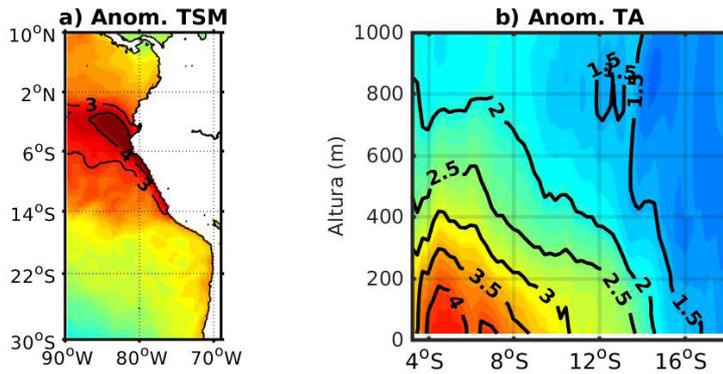


Figura 3. Anomalías promedio de: a) Temperatura Superficial del Mar (TSM; en °C) y b) Temperatura del Aire (TA; en °C), en el periodo noviembre 1997-febrero 1998. Datos de la simulación WRF. Adaptado de Chamorro et al., (2018).

reprodujo la respuesta del viento costero al forzante local de la TSM y a las condiciones atmosféricas de gran escala. Un balance de *momentum* a lo largo de la costa mostró que el gradiente de presión paralelo a la costa fue la fuerza dominante que condujo la aceleración del viento en superficie. Las anomalías del gradiente de presión paralelo a la costa fueron causadas por el mayor incremento de la temperatura del aire en la costa norte que en la costa sur, asociado con el calentamiento no homogéneo de la TSM (Figura 3). El gradiente de presión accionado termalmente fue confirmado por la alta correlación ($r=0.84$, $p<0.01$) entre la anomalía del viento costero y el gradiente norte-sur de la TSM. Los perfiles verticales del viento, el coeficiente de mezcla, y las tendencias del *momentum*, mostraron que la intensificación del viento superficial no fue causado por el incremento de la turbulencia en la CLP, distinto al caso de las anomalías de mesoescala (Oerder et al., 2016). Además, se observó que la inversión de temperatura en la vertical mitigó el desarrollo del gradiente de presión por convección del aire durante parte del evento (ver Fig. 12 en Chamorro et al., 2018). Experimentos de sensibilidad permitieron separar los impactos respectivos del forzante local de la TSM y la condición de gran escala sobre la intensificación del viento costero. Este fue principalmente conducido por el forzante local de la TSM mientras que la variabilidad de gran escala, asociada con el APS, moduló sus efectos (Figura 4). Análisis de otros eventos El Niño, usando datos de un *reanalysis* atmosférico (ERA-Interim) en el periodo 1979-2016, confirmó que la intensificación del viento costero en Perú fue asociada con las anomalías del gradiente norte-sur de la TSM, como durante el evento de 1997-1998 (Figura 5).

CONCLUSIONES

La intensificación del viento frente a la costa peruana durante un evento El Niño canónico o típico se origina por el reforzamiento del gradiente de presión a lo largo de la costa, que es causado por el incremento mayor de la temperatura del aire sobre la superficie del mar en la costa norte que en la costa sur, asociado al calentamiento no homogéneo de la TSM. Es probable que dos condiciones deban ser necesarias para producir una fuerte intensificación del viento en la región costera durante un evento El Niño: una anomalía del gradiente norte-sur de la TSM y una débil (o ausente) inversión térmica en la atmósfera, lo que permite el desarrollo de la convección superficial y el ascenso de aire cálido que conduce el reforzamiento del gradiente de presión.

Este mecanismo de intensificación del viento podría también estar activo durante otras condiciones de calentamiento regional. Por ejemplo, durante el evento El Niño costero 2017, el calentamiento inicial que se dio en enero estuvo asociado con un debilitamiento del viento, pero en los meses posteriores el viento costero se intensificó. Echevin et al. (2018) sugieren que la respuesta atmosférica en febrero y marzo se originó debido al gradiente norte-sur de la TSM, similar al proceso del evento El Niño 1997-1998 descrito por Chamorro et al. (2018). Asimismo, este mecanismo podría tener un rol importante en la respuesta del viento costero al cambio climático, compensando el efecto de un eventual desplazamiento del APS hacia el polo. Actualmente se vienen realizando trabajos de investigación que permitirán evaluar el papel del mencionado mecanismo en cada caso.

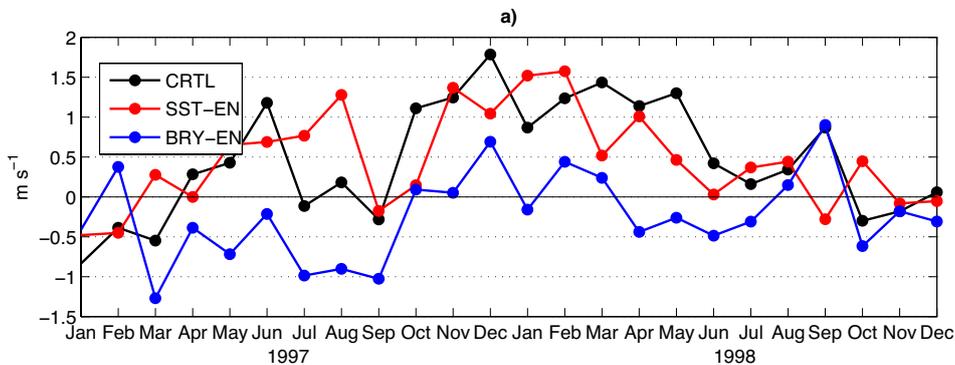


Figura 4. Anomalías del viento costero (en $m.s^{-1}$) de 3 experimentos con el modelo atmosférico regional WRF (Chamorro et al. 2018): simulación de control (CRTL) usando condiciones de frontera y forzantes de El Niño 97/98 (línea negra), simulación SST-EN usando TSM de El Niño 97/98 y condiciones de frontera de un año normal (línea roja), y simulación BRY-EN usando condiciones de frontera de El Niño 97/98 y TSM de un periodo normal (línea azul).

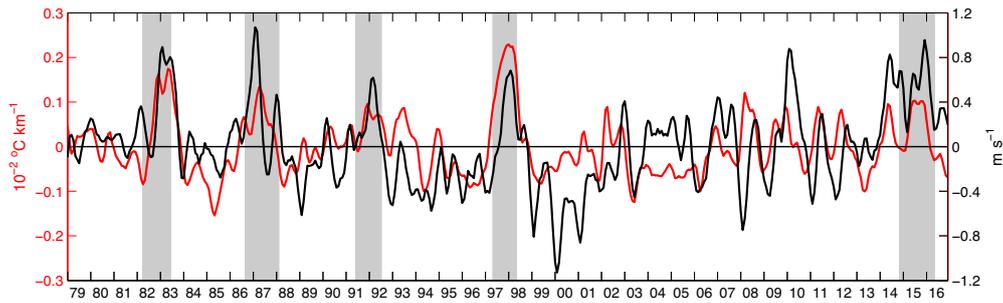


Figura 5. Anomalías del gradiente norte-sur de la TSM (en $10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$; línea roja) y del viento costero (en m.s^{-1} ; línea negra) obtenidos con datos del reanalysis ERA-Interim sobre el periodo 1979-2016. Las áreas sombreadas indican periodos de eventos El Niño (Chamorro et al., 2018).

REFERENCIAS

- Bakun A, Field D, Renondo-rodriguez, A. Weeks SJ. 2010. Greenhouse gas, upwelling favourable winds, and the future of upwelling systems. *Glob Chang Biol* 16:1213-1228
- Belmadani, A., V. Echevin, F. Codron, K. Takahashi, and C. Junquas. 2014. What dynamics drive future wind scenarios for coastal upwelling off Peru and Chile? *Clim. Dyn.* 43, 1893-1914, doi:10.1007/s00382-013-2015-2
- Bjerknes, J. 1966. Survey of El Niño 1957-58 in its relation to tropical Pacific meteorology, *Bull. Inter,4m. Trop. Tuna Comm.*, 12, 3-86.
- Chamorro, A., Echevin, V., Colas, F., Oerder, V., Tam, J., and Quispe-Ccalluari, C. (2018). Mechanisms of the intensification of the upwelling-favorable winds during El Niño 1997-1998 in the Peruvian upwelling system. *Clim. Dyn.* 1-17. doi: 10.1007/s00382-018-4106-6
- Chavez, F. P., A. Bertrand, R. Guevara-Carrasco, P. Soler, and J. Csirke. 2008. The Northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future, *Prog. Oceanogr.*, 79(2-4), 95-105, doi:10.1016/j.pocean.2008.10.012.
- Colas, F., Capet X., McWilliams J. C., and Shchepetkin A. 2008. 1997-98 El Niño off Peru: A numerical study, *Prog. Oceanogr.*, 79, 138-155, doi:10.1016/j.pocean.2008.10.015.
- Colas, F., Capet X, Jin X., Molemaker J., Chelton D. and J. McWilliams. 2008. Wind stress and sea surface temperature coupling in eastern boundary upwelling systems. p.107. En: UPLGC (Ed.). Libro de resúmenes del Simposio Internacional en Afloramientos Costeros de los Márgenes Orientales. 274 p.
- Dewitte B, Illig S, Renault L, Goubanova K, Takahashi K, Gushchina D, Mosquera K, Purca S. 2011. Modes of covariability between sea surface temperature and wind stress intraseasonal anomalies along the coast of Peru from satellite observations (2000-2008). *Journal of Geophysical Research* 116: C04028. DOI: 10.1029/2010JC006495.
- Echevin V, Colas F, Espinoza-Morriberon D, Vasquez L, Anculle T and Gutierrez D (2018) Forcings and Evolution of the 2017 Coastal El Niño Off Northern Peru and Ecuador. *Front. Mar. Sci.* 5:367. doi: 10.3389/fmars.2018.00367
- Enfield DB. 1981. Thermally-driven wind variability in the planetary boundary layer above Lima, Peru. *J. Geophys Res* 86(C3): 2005-2016.
- Espinoza-Morriberón, D., Echevin, V., Colas, F., Tam, J., Ledesma, J., Vásquez, L., et al. (2017). Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling system productivity. *J. Geophys. Res. Oceans* 122, 5423-5444. doi: 10.1002/2016JC012439.
- Hashizume H, Xie SP, Fujiwara M, Tanimoto TWY. 2002. Direct observations of atmospheric boundary layer response to SST variations associated with tropical instability waves over the Eastern Equatorial Pacific. *J Clim* 15:3379-3393. doi:10.1175/1520-0442(2002)015<3379:DOOABL>2.0.CO;2
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review, *Prog. Oceanogr.*, 69(2-4), 181-217, doi:10.1016/j.pocean.2006.03.009.
- Oerder V, Colas F, Echevin V, Masson S, Hourdin C, Jullien S, Madec G, Lemarié F. 2016. Mesoscale SST-wind stress coupling in the Peru-Chile current system: Which mechanisms drive its seasonal variability? *Climate Dynamics*. 1-22. DOI: 10.1007/s00382-015-2965-7.
- Rahn, D. A. 2012. Influence of large scale oscillations on upwelling-favorable coastal wind off central Chile, *J. Geophys. Res.*, 117, D19114, doi:10.1029/2012JD018016.
- Skamarock W, Klemp J (2008) A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications. *J Comp Phys* 227:3465-3485. https://doi.org/10.1016/j.jcp.2007.01.037
- Wallace, J.M., Mitchell, T., and C. Deser. 1989. The influence of sea surface temperature on surface wind in the Eastern Equatorial Pacific: seasonal and interannual variability. *J Clim* 2:1492-1499. doi:10.1175/1520-0442(1989)002<1492:TIOSST>2.0.CO;2
- Wyrtki, K. 1975. El Niño: the dynamic response of the equatorial Pacific to atmospheric forcing. *Journal of Physical Oceanography* 5, 572-584.

Disponibilidad de flotadores ARGO para el monitoreo oceánico continuo frente a la costa sudamericana

*Gerardo Rivera y Kobi Mosquera
Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima-Perú*

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la cantidad de observaciones en el océano Pacífico han aumentado considerablemente, cubriendo gran parte de las regiones tropicales y ecuatoriales. Esto ha servido de insumo principal para la asimilación de datos de los modelos oceánicos y, de esta manera, obtener una mejor representación de la dinámica y termodinámica, tanto para el presente como el futuro. Hasta hace un par de décadas, el proyecto de observación oceanográfico TAO/TRITON (McPhaden et al., 2010) sirvió como única ventana para observar, en tiempo real, el Pacífico ecuatorial tanto en la superficie como debajo de ella. No obstante, hoy en día se cuenta con una nueva red observacional que abarca todos los océanos y se denomina "Programa internacional ARGO" (ARGO, 2019). Esta red de monitoreo consiste en un conjunto de instrumentos (que llamaremos de ahora en adelante "flotadores ARGO") con la capacidad de descender y ascender dentro del océano, midiendo su estructura vertical de manera periódica, para obtener información de distintas variables que luego es transmitida al satélite. Es gracias a esta disponibilidad de datos que el Instituto Geofísico del Perú, como otros institutos científicos nacionales e internacionales, usa estos flotadores como herramienta para el monitoreo de las ondas Kelvin oceánicas (Aparco et al., 2014). El presente trabajo busca evaluar la disponibilidad histórica de los datos ARGO a lo largo de la costa

sur de América y su repartición, a fin de ubicar zonas potenciales de monitoreo.

FLOTADORES ARGO

Las observaciones de alta resolución vertical son proporcionadas por la red de flotadores del programa ARGO, los cuales son desplegados a lo largo del océano global. Estos instrumentos proporcionan mediciones, en su mayoría, de temperatura y salinidad desde la superficie hasta una profundidad estándar de 1000 m y 2000 m; extendiéndose hasta los 4000 m y 6000 m en versiones experimentales, conocidos como la serie DEEP ARGO (Roemmich et al., 2019). Los datos proporcionados otorgan una vista a la dinámica vertical del océano, lo cual permite complementar las observaciones superficiales en las tareas de monitoreo e investigación.

Si bien los datos cubren muchas regiones del océano, ciertas zonas dejan de contar con mediciones debido al movimiento de los flotadores que es producido por las corrientes oceánicas, tanto del fondo como de la superficie. Esto provoca que la información se distribuya de manera irregular en el océano. Es por tal motivo que diversas instituciones despliegan cada año más flotadores con la misión de mantener la densidad de datos en al menos un flotador activo en un área de

3° x 3°, sumando una cantidad total de 3000 flotadores activos distribuidos por todo el océano global (Argo Steering Team, 1998). Las proyecciones del proyecto ARGO buscan alinear las misiones de observación a aumentar la densidad de datos disponibles (Roemmich et al., 2019), siendo un ejemplo el de duplicar la densidad de flotadores entre 10°S-10°N como objetivo del Tropical Pacific Ocean Observing System 2020 - TPOS20 (Cravatte et al., 2016).

A fin de obtener series de tiempo casi continuas de los flotadores ARGO, lo cual permita monitorizar o estudiar las condiciones oceánicas en ciertas regiones frente a la costa sudamericana, es que se calcula la función de densidad correspondiente a la distribución histórica de datos (1999-2019) usando un estimador del tipo "Núcleo Gaussiano".

METODOLOGÍA

Estimación de tipo Núcleo

La estimación de tipo Núcleo es una forma de calcular la función probabilística de la densidad de una variable aleatoria de manera no paramétrica (Pedregosa et al., 2012), es decir, sin asumir que los datos forman parte de alguna función de distribución específica. La densidad estimada nos permite observar la probabilidad de encontrar muestras dentro de un intervalo específico. Al igual que el método del histograma, donde la selección de los "bins" afecta los resultados (Silverman, 1998), la selección del ancho de banda para la función "núcleo" tiene el mismo efecto sobre el resultado obtenido, por lo que debe escogerse de acuerdo a la dispersión de los datos, a fin de no obtener un suavizado excesivo. Esta estimación se puede interpretar como una suma de contribuciones individuales en forma de perturbaciones, o pequeños "bultos", que están centrados sobre cada muestra, en donde la superposición de estos equivale a una interacción constructiva, lo cual aumenta el valor de la densidad local.

Matemáticamente, esta estimación se define por:

$$\rho_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

En donde n es la cantidad de observaciones x_i , K representa la función "núcleo" escogida y h es el ancho de banda. Debido a que el resultado es una medida de probabilidad, la función de densidad no puede tomar valores negativos y, a su vez, la integral sobre todo el dominio de datos debe ser 1.

$$\rho(x) \geq 0, \int f(x)dx = 1$$

Para el caso presentado, se escogió una distribución gaussiana como "núcleo", con un ancho de banda empírico de 1.2 ya que, para fines exploratorios, la configuración usada facilitó la interpretación de los patrones obtenidos.

Zonas de monitoreo

La superficie de densidad obtenida corresponde a una distribución multimodal sobre la cual se pueden resaltar dos zonas altamente densas de información, las que corresponden a la ubicación de boyas oceanográficas mantenidas de manera regular por cruceros de la NOAA (Figura 1). La primera zona (Zona 1) corresponde a una región del océano Pacífico ecuatorial centrada aproximadamente en 110°W, cerca de una boya del proyecto TAO, mientras que la segunda zona (Zona 2) se encuentra cerca a 20°S y 85°W, en donde se han desplegado constantemente flotadores ARGO debido al proyecto Stratus (ver reportes de crucero¹).

Habiendo determinado estas dos regiones, se procedió a calcular la anomalía de la temperatura para cada región usando la climatología del reanalysis Global Ocean Data Assimilation (GODAS; Behringer and Xue, 2004), tal como se puede ver en la Figura 1 para el periodo enero de 2015 – abril de 2019. En el panel superior de esta última, el cual representa la Zona 1, se puede observar claramente el impacto de El Niño extremo 2015/2016, La Niña 2016, La Niña 2017-18 y El Niño 2018/2019 hasta los 100 y 150 metros. En el caso particular de los eventos La Niña, se puede apreciar que estos estarían impactando también por debajo de los 250 metros de profundidad. Para la Zona 2, panel inferior de la Figura 2, se aprecia una anomalía positiva en todo el periodo centrada alrededor de los 150 metros de profundidad. Estas anomalías positivas se extienden hacia la superficie entre en los periodos enero- julio de 2016 y enero - junio de 2018. Las anomalías negativas son evidentes a partir de julio de 2017 hasta abril de 2019.

En la parte inferior de cada panel se puede ver la densidad de datos en cada región. En la primera, se observa que esta ha venido disminuyendo con el tiempo, lo cual es esperado debido a la divergencia que existe en dicha región. Para el caso de la Zona B, la mayor densidad de datos se da a partir de aproximadamente el tercer trimestre hasta fines del año 2018. Esto se debe al despliegue, como parte del proyecto Stratus-XVII, del flotador ARGO 3902142, el cual tuvo una resolución temporal de 12 horas, aproximadamente.

¹ <http://uop.whoi.edu/currentprojects/stratus/stratus.html>

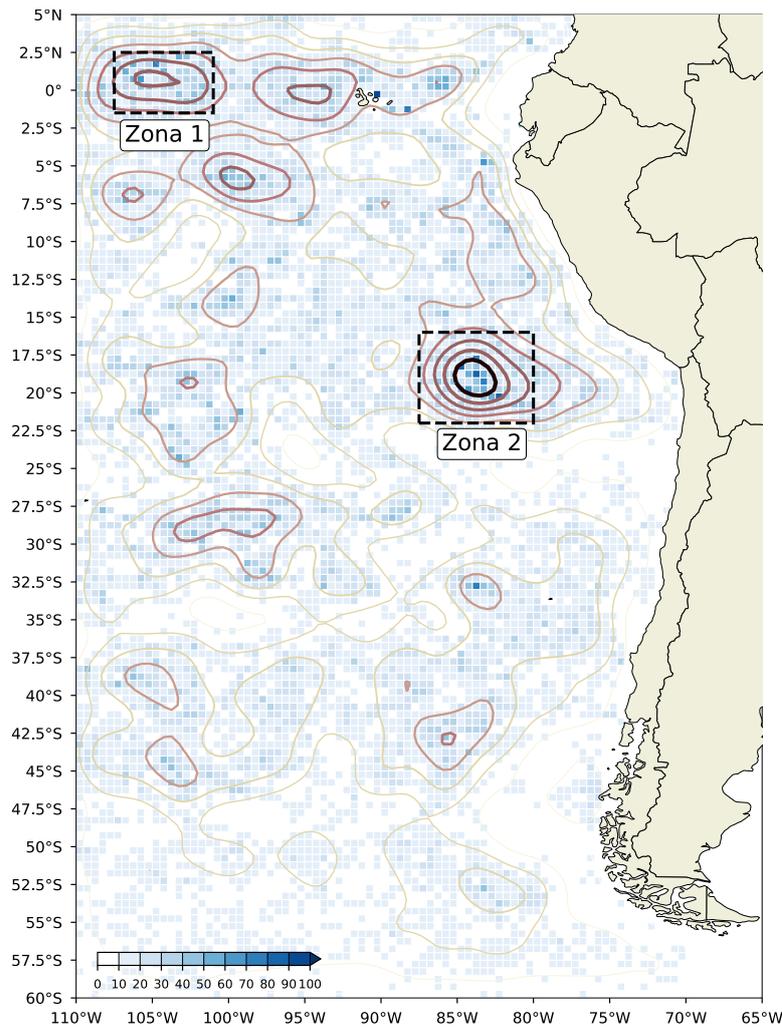


Figura 1. Histograma con "bins" de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ para los datos ARGO. Los contornos representan la función de densidad calculada y las regiones sombreadas equivalen a máximos locales. Los cuadros con línea punteada representan la extensión de las zonas usadas para el monitoreo. El primer dato registrado en la Zona 1 fue el 7/04/2001 mientras que para la Zona 2 fue el 24/10/2001.

Comentarios

Además de identificar las zonas en las que se cuenta con una robustez mayor de datos, se identificó también regiones que tienen una densidad mucho menor, especialmente al sur de 20°S , por lo que las acciones de monitoreo a cargo de instituciones mundiales deben apuntar a suplir esta falta de información oceanográfica subsuperficial. Una de estas propuestas es la del proyecto SEPICAF (*South Eastern Pacific Circulation from ARGO Floats*; Mosquera et al., 2018), el cual lanzará un conjunto de flotadores ARGO en las zonas de Perú y Chile en los años 2020 y 2021, lo cual está alineado a las recomendaciones de TPOS2020.

Hay que indicar que el método usado dio una primera aproximación sobre la estadística de los datos ARGO, pudiendo extenderse a distintas regiones para afinar la tarea de monitoreo; sin embargo, tiene lugar a mejoras, ya que se usó un kernel con ancho de banda constante el cual puede agregar ruido en zonas de baja densidad (Silverman, 1998), no otorgando una estimación adecuada. Además, se evidenció que la presencia de varios datos en un periodo específico, que no necesariamente es reciente, puede elevar la

función de densidad como lo fue en el caso de la Zona 2 (Figura 2a), lo cual sería útil para investigaciones en periodos específicos

BIBLIOGRAFÍA

Aparco, J., Mosquera, K., Takahashi, K., 2014. Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional). Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño" 1, 8–9.

Argo, 2019. Argo float data and metadata from Global Data Assembly Centre (Argo GDAC). <https://doi.org/10.17882/42182>

Argo Steering Team, 1998. On the design and Implementation of ARGO - an initial plan for the global array of profiling floats (International CLIVAR Project Office Report No. 21).

Behringer, D., Xue, Y., 2004. Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific

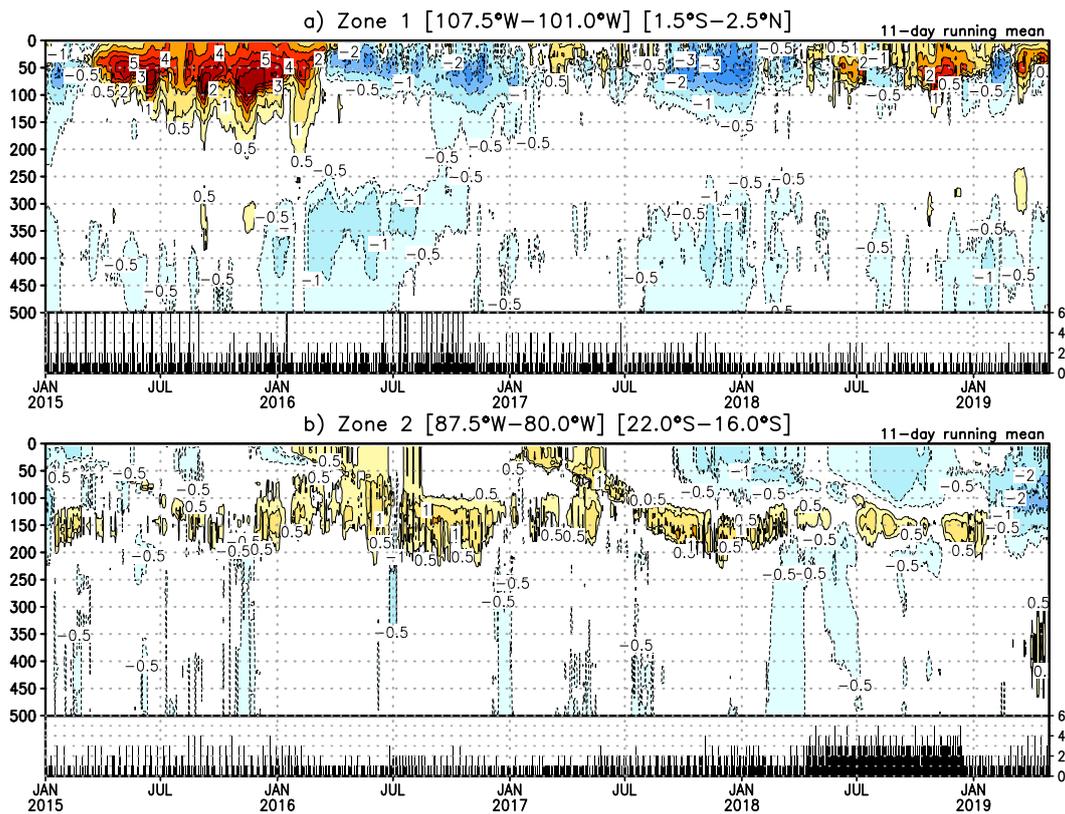


Figura 2. Hovmöller de anomalías de temperatura para la Zona 1 (arriba) y Zona 2 (abajo) obtenidas con una climatología de GODAS (1981-2010). Debajo de cada figura se muestra un histograma que indica la cantidad de datos usados en los cálculos diarios.

Ocean, in: Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface. Presented at the AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, pp. 11–15.

Cravatte, S., Kessler, W.S., Smith, N., Wijffels, S.E., 2016. First Report of TPOS 2020 (GOOS No. 215).

McPhaden, M.J., Ando, K., Bourles, B., Freitag, H.P., Lumpkin, R., Masumoto, Y., Murty, V.S.N., Nobre, P., Ravichandran, M., Vialard, J., Vousden, D., Yu, W., 2010. The Global Tropical Moored Buoy Array, in: Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society. Presented at the OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society, European Space Agency, pp. 668–682. <https://doi.org/10.5270/OceanObs09.cwp.61>

Mosquera, K., Montes, I., Dewitte, B., 2018. La Red ARGO para mejorar la monitorización de la circulación oceánica en el mar del Perú. Boletín Técnico "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño" 5, 5–9.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Müller, A., Nothman, J., Louppe, G., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M.,

Perrot, M., Duchesnay, É., 2012. Scikit-learn: Machine Learning in Python. arXiv:1201.0490 [cs].

Roemmich, D., Alford, M.H., Claustre, H., Johnson, K., King, B., Moum, J., Oke, P., Owens, W.B., Pouliquen, S., Purkey, S., Scanderbeg, M., Suga, T., Wijffels, S., Zilberman, N., Bakker, D., Baringer, M., Belbeoch, M., Bittig, H.C., Boss, E., Calil, P., Carse, F., Carval, T., Chai, F., Conchubhair, D.Ó., d'Ortenzio, F., Dall'Olmo, G., Desbruyeres, D., Fennel, K., Fer, I., Ferrari, R., Forget, G., Freeland, H., Fujiki, T., Gehlen, M., Greenan, B., Hallberg, R., Hibiya, T., Hosoda, S., Jayne, S., Jochum, M., Johnson, G.C., Kang, K., Kolodziejczyk, N., Körtzinger, A., Traon, P.-Y.L., Lenn, Y.-D., Maze, G., Mork, K.A., Morris, T., Nagai, T., Nash, J., Garabato, A.N., Olsen, A., Pattabhi, R.R., Prakash, S., Riser, S., Schmechtig, C., Schmid, C., Shroyer, E., Sterl, A., Sutton, P., Talley, L., Tanhua, T., Thierry, V., Thomalla, S., Toole, J., Troisi, A., Trull, T.W., Turton, J., Velez-Belchi, P.J., Walczowski, W., Wang, H., Wanninkhof, R., Waterhouse, A.F., Waterman, S., Watson, A., Wilson, C., Wong, A.P.S., Xu, J., Yasuda, I., 2019. On the Future of Argo: A Global, Full-Depth, Multi-Disciplinary Array. *Frontiers in Marine Science* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00439>

Silverman, B.W., 1998. Density estimation for statistics and data analysis, Monographs on statistics and applied probability. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.

Resumen del Informe Técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2019-06

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). El pronunciamiento colegiado del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

RESUMEN

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN), basado tanto en los datos de ERSSTv3b (ICENV3), OISSTv2 (ICENOI) y ERSSTv5 (ICENV5), indicaron una condición climática Neutra para el mes de mayo, con valores de 0.28, -0.09 y 0.25°C, respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp), de las tres fuentes de datos, para los meses de junio y julio, coinciden en mantener condiciones Neutras. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que en mayo de 2019 se mantuvo la condición Cálida Débil (0.66°C) y, según la información de los valores temporales, se espera que continúe así, al menos, hasta el mes de junio.

En base al análisis de los datos y resultados de los modelos numéricos, la señal de la onda Kelvin fría debe arribar a la costa americana a fines de julio e inicios de agosto. Con respecto al pulso de viento del oeste en la región occidental del Pacífico, el cual se formó durante el mes de mayo, originó una onda Kelvin cálida que, si mantuviera la energía necesaria para alcanzar la costa americana, entonces arribaría, según los modelos, a finales de agosto.

Según el promedio de los siete modelos numéricos climáticos de NMME, inicializados con condiciones del mes de julio de 2019, para el Pacífico central y oriental, coinciden en indicar condiciones Neutras para el periodo que va de julio a enero de 2020.

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM), promediados sobre la región Niño1+2 y actualizados hasta el mes de junio de 2019 del producto ERSST v3b, generados por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EEUU); se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012) hasta el mes de mayo de 2019 y cuyos valores se muestran en la Tabla 1 (columnas

3 y 4), en donde el valor para el mes de mayo corresponde a una condición Neutra. Los valores del ICEN, usando ERSST v3b, se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>.

Los valores del ICENOI, calculado de la misma forma que el ICEN pero usando los datos mensuales de OISST v2 y las climatologías de ERSST v3b, las cuales se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/climNino12.txt>, se muestran en la columna 5 y 6 de la Tabla 1. Estos indican, como el ICENV3, condiciones Neutras para el mes de mayo.

Otra fuente de datos para calcular el ICEN es la de ERSSTv5 (ICENV5), la cual es generada por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EEUU, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.81-10.ascii>). Los valores de este ICEN se muestran en la columna 7 y 8 de la Tabla 1. Al igual que el ICENV3 e ICENOI, el ICENV5 indica condiciones Neutras para el mes de mayo.

Cabe señalar que para calcular el ICEN actual; tanto para ICENV3, ICENOI e ICENV5; se utilizan los datos que son denominados, en cada una de estas bases de datos, como "datos en tiempo real", los cuales se caracterizan por cambiar ligeramente su valor en el transcurso de los siguientes meses. Es por esto que pueden existir pequeñas discrepancias en el cálculo del ICEN para los meses anteriores cuando se use la data actualizada.

Valores del índice Costero El Niño							
Año	Mes	ICENV3	Categoría	ICENOI	Categoría	ICENV5	Categoría
2019	Febrero	0.34	Neutra	0.36	Neutra	0.54	Cálida Débil
2019	Marzo	0.25	Neutra	0.26	Neutra	0.41	Cálida Débil
2019	Abril	0.38	Neutra	0.16	Neutra	0.34	Neutra
2019	Mayo	0.28	Neutra	-0.09	Neutra	0.25	Neutra

Tabla 1. Valores recientes del ICEN obtenidos de ERSST v3b (columnas 3 y 4), OISST.v2 (columnas 5 y 6) y ERSST v5 (columnas 7 y 8).

ÍNDICE OCEÁNICO NIÑO (ONI)

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (*Ocean Niño Index* en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de mayo de 2019, es de 0.66 °C, correspondiente a una condición Cálida Débil¹.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

Según los datos observados (IR, MW, OSTIA), de las anomalías de la TSM diaria en la región Niño 3.4, en el mes de junio continuó dentro de las condiciones cálidas débiles en las tres primeras semanas del mes, sin embargo en la última semana mostró condiciones neutras con anomalía de 0.3 °C en promedio. Para la región Niño 1+2, la ATSM indicó valores entre -0.4° a -0.1°C, siendo condiciones neutras.

Según la información de las boyas instaladas a lo largo del Pacífico Ecuatorial del proyecto TAO, el promedio mensual de las anomalías del viento zonal en el Pacífico ecuatorial continúan mostrando un dipolo de anomalías positivas y negativas al oeste y este de 150°W. En lo relacionado a la anomalía de la profundidad de

la termoclina, ésta muestra principalmente valores negativos y solo una pequeña anomalía positiva en el extremo oriental. En lo que respecta a la ATSM, aún se observan valores positivos con un núcleo, menos intenso que el mes anterior, localizado entre la línea de cambio de fecha y los 160°W.

Viendo en más detalle, en la tercera y última semana de junio, según los datos de Windsat, se observaron anomalías positivas del esfuerzo de viento en el Pacífico oeste entre 130°E y 140°E, las cuales se proyectaron en una onda Kelvin cálida que, en la actualidad, ya se observa en la franja ecuatorial (Figura 1). Por otro lado, se observaron ligeras anomalías negativas entre 160°E-160°W en la segunda semana de junio, entre 140°-130°W en la tercera semana y entre la línea de cambio de fecha y 160°W en la última semana de junio.

Basado en los datos de TAO, la profundidad de la termoclina oeste (este) de 120°W se muestra más (menos) profunda de lo normal, en los últimos días del mes la inclinación de la termoclina ecuatorial muestra una leve inclinación a lo normal, mientras que el contenido de calor, en las últimas semanas, indica valores negativos aunque próximos a su normal. En el mes de junio se observa la isoterma de 20°C con anomalías negativas, es decir más somera (95°W, 2°S-2°N). La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en la zona (170°E – 140°W, 5°S-5°N) se mostró por debajo de su climatología, sin embargo, en los últimos días del mes y en los primeros días de julio se mostró por debajo de su climatología y en la región (170°W – 100°W, 5°S-5°N) se mostraron próximo a su normal.

¹ Los umbrales para establecer la categoría de condiciones cálidas o frías débiles, moderadas, fuertes, y muy fuertes usando el ONI son ±0.50, ±1.00, ±1.50, y ±2.00, respectivamente (Nota Técnica ENFEN, 02-2015).

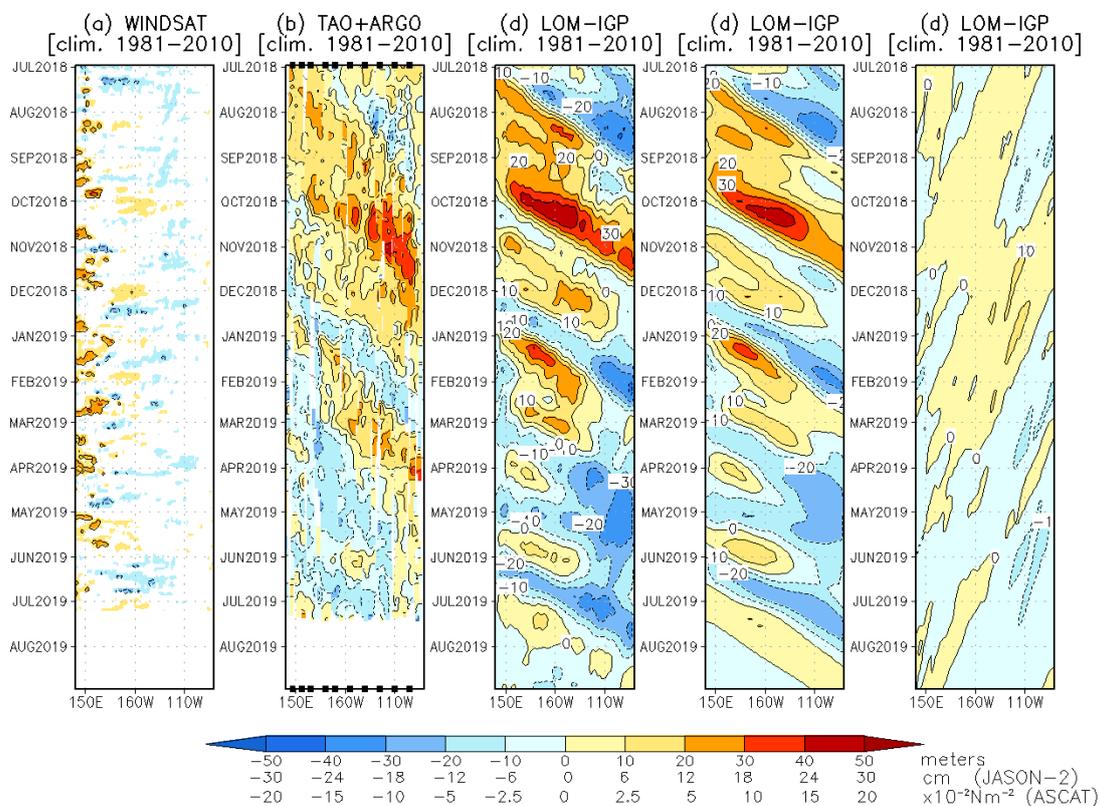


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos de WINDSAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por WINDSAT, y $\tau=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s. Elaboración: IGP.

La información de altimetría del producto DUACS y los resultados de los modelos numéricos (Figura 1) indican que la señal de la onda Kelvin fría se encontrará entre 140°W-110°W.

ONDAS KELVIN A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA

Según la información de DUACS (basado en altimetría satelital), a inicios de junio se observaron anomalías negativas a lo largo de la costa peruana, en las siguientes semanas las condiciones fueron próximas a su climatología. Las anomalías de junio pudieron deberse al paso de la onda Kelvin fría. Según la información del flotador ARGO (No. 3901231), el cual se localizó durante junio e inicios de julio entre 84.5 – 83°W y 3-5°S (frente a la costa norte del Perú), las anomalías negativas se observan por encima de los 50 metros, mientras que por debajo se desarrolló un núcleo positivo hasta los 320 metros (Figura 2).

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

Una onda Kelvin fría debe arribar a fines de julio e inicios de agosto. Por otro lado, la onda Kelvin cálida observa en

la zona occidental podría fortalecerse con las anomalías de viento del oeste en el Pacífico central. Si mantuviera la energía necesaria para alcanzar la costa americana, entonces arribaría, según los modelos, a fines de agosto (ver Figura 1).

PRONÓSTICO ESTACIONAL CON MODELOS CLIMÁTICOS

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2) según los 7 modelos climáticos de NMME (CFSv2, GFDL_CMC2.1, GFDL_FLOR, NASA_GEOS5v2, NCAR_CCM4, CMC1 y CMC2) con condiciones iniciales del mes de julio de 2019, indica en promedio condiciones Neutras entre los meses de julio y enero de 2020 (ver figura 3).

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados con información del mes de julio, el promedio de los 7 modelos indica condiciones Neutras de julio a enero de 2020.

CONCLUSIONES

1. El ICEN (SSTOI) para mayo de 2019 fue de -0.09 (Neutro), los ICENtmp para junio y julio son -0.16 y -0.22, respectivamente, siendo condiciones Neutras. Usando ERSSTv3 mensual para el cálculo (ICEN), los valores correspondientes son 0.28 (Neutro), y los temporales para

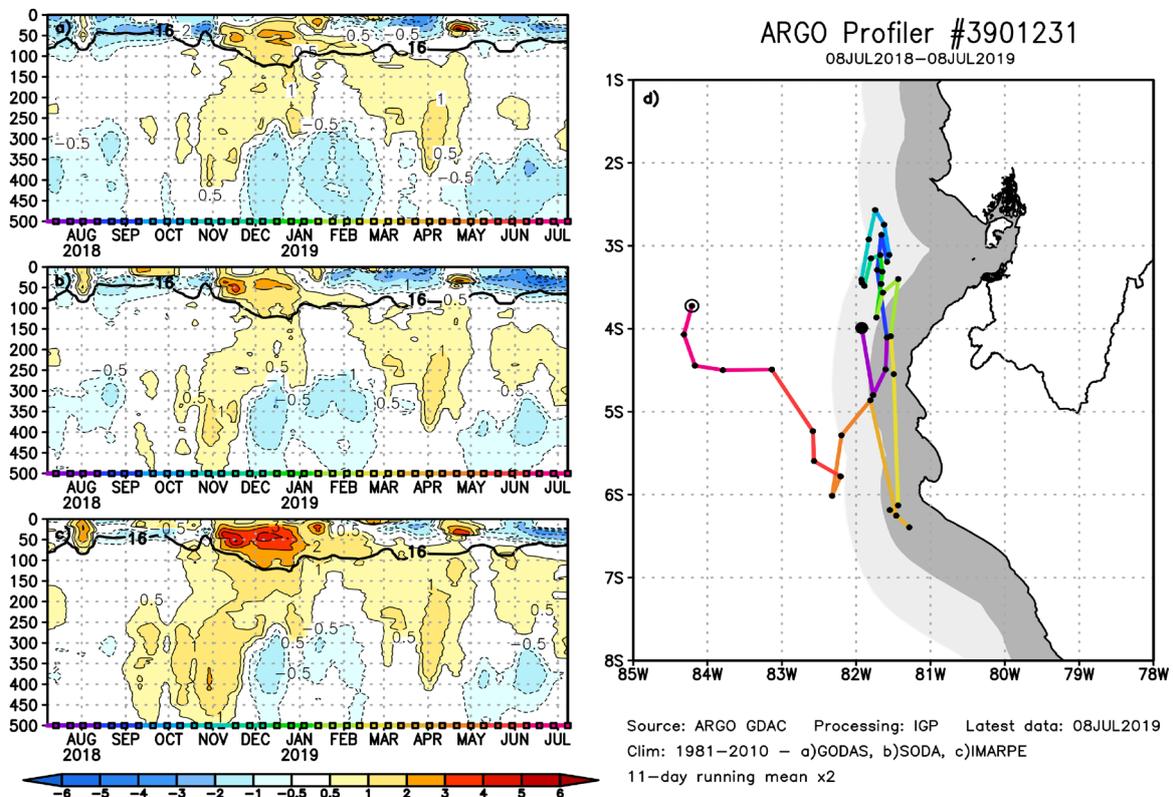


Figura 2. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad calculada de los datos del flotador ARGO No. 3901231. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria del flotador en el último año. Cada color indica un periodo de aproximadamente 30 días, en donde el círculo abierto indica la última posición del flotador.

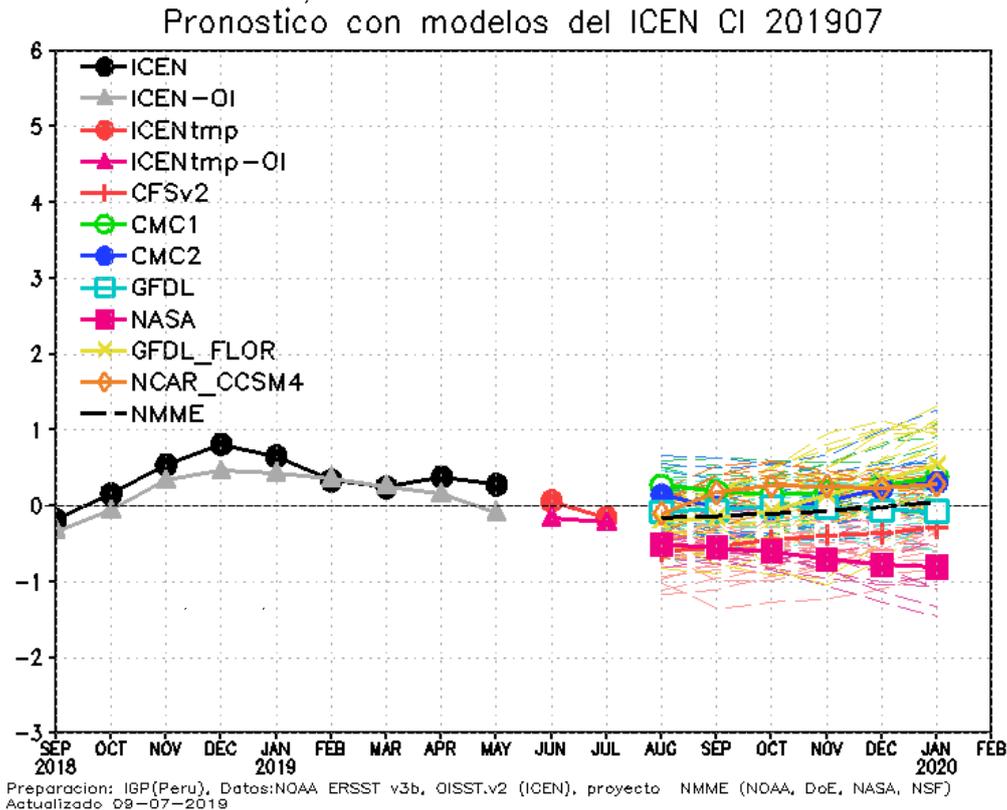


Figura 3. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2; ICEN gris con círculos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno, ICENtmp-OI, rojo con triángulos llenos, ICENv5tmp, rojo con círculo). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA_GEOSv2 GFDL_FLOR y NCAR_CCISM4 tienen como condición inicial el mes de julio de 2019. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

junio y julio son Neutro, 0.06 y -0.16 respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para mayo es 0.25 (Neutro) y los temporales también se encuentran en el rango de Neutro para los meses de junio y julio, 0.05 y -0.14 respectivamente.

2. En el Pacífico central, el ONI de abril (AMJ) es 0.66 y corresponde a condiciones Cálida Débil y el estimado para junio y julio corresponden a condiciones Cálida Débil y Neutra respectivamente.

3. La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en las regiones (170°E – 140°W, 5°S-5°N) y (170°W – 100°W, 5°S-5°N) indica valores alrededor a su climatología.

4. Según la información de TAO en la franja ecuatorial, en el mes junio, se mantienen los vientos del este (oeste) al este (oeste) de 160°W. Los vientos del oeste se han observado muy intensos, esto debido a la presencia de pulsos de viento en dicha región.

5. La profundidad de la termoclina oeste (este) de 120°W se muestra más (menos) profunda de lo normal. Las anomalías de la TSM se mantienen positivas en la mayor parte de la franja ecuatorial, y el máximo valor observado se localiza en la zona Central, entre 180° a 160°W.

6. Durante el mes de junio, según la información de TAO, se desarrolló un pulso de viento del oeste al oeste de 150°E y, a inicios de julio, se viene desarrollando uno entre 150°E y 150°W. Según la data de esfuerzo de viento zonal de WINDSAT y NCEP, a fines de junio se habría desarrollado un pulso del este alrededor de 160°W.

7. Basado en los datos de TAO, la inclinación de la termoclina ecuatorial, si bien estuvo menos inclinada de lo normal, en la primera semana de julio se encuentra en sus valores normales. Por otro lado, el contenido de calor indica valores negativos, posiblemente relacionado con la presencia de ondas Kelvin frías.

8. Según la información de los flotadores ARGO en la franja ecuatorial en la zona oriental durante el mes de junio e inicios de julio se observó una disminución de las anomalías en los primeros 50 metros. Flotadores frente a la zona norte (Piura) muestran anomalías frías (cálidas) por encima (debajo) de los 100 metros de profundidad. Sin embargo frente a 10°S se aprecian anomalías positivas en los primeros 50 metros.

9. La señal de la onda Kelvin cálida, formada por un pulso de viento del oeste, el cual se desarrolló a inicios del mes de mayo en la región occidental del Pacífico Ecuatorial, se debilitó. Esto se aprecia tanto en el nivel del mar como en la profundidad de la termoclina.

10. La presencia de una onda Kelvin fría, localizada entre 160° y 120°W, se observa en los datos de la profundidad de la termoclina de ARGO y TAO. Los pulsos de viento del oeste en la zona occidental aparentemente se han proyectado en una onda Kelvin cálida según la información del nivel del mar y profundidad de la termoclina.

11. Una onda Kelvin fría debe arribar a fines de julio e inicios de agosto. La onda Kelvin cálida observada en la zona occidental podría fortalecerse con las anomalías de viento del oeste en el Pacífico central. Si mantuviera la energía necesaria para alcanzar la costa americana, entonces arribaría, según los modelos, a fines de agosto.

12. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME con condiciones iniciales de julio en promedio indican condiciones NEUTRAS entre los meses de julio a enero de 2020.

13. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indica condiciones Neutras entre los meses de julio a enero de 2020

BIBLIOGRAFÍA

Aparco, J., K. Mosquera y K. Takahashi. 2014. Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Mayo, 1, 5.

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y, Sprintall, J., Stratton, P., Sutton, A., Takahashi, K. y Wittenberg, A. 2016. First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [<http://tpos2020.org/first-report>]

DiNezio, P. 2016. Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.

ENFEN 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN.

ENFEN 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN 02-2015.

Huang, B., Thorne, P.W, Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., Zhang, H.-M. 2017. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons, J. Climate, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1

Kug, J.-S., Jin, F.-F., An, S.-I. 2009. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. J. Climate 22, 6, 1499–1515, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.

Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J. C. 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), Revista Brasileira de Meteorologia, 29 (2), 171-182.

Meehl, G., Hu, A., Teng, H. 2016. Initialized decadal prediction for transition to positive phase of the Interdecadal Pacific Oscillation. Nature Communications, doi: 10.1038/ncomms11718

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., and Guyot, J. L. 2017. The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012). Scientific Reports, v. 7, No. 1, p. 11947 DOI:10.1038/s41598-017-12220-x.

Mosquera, K. 2009. Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para obtener el grado de Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos. 2010. Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.

Mosquera, K. 2014. Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7

Reupo, J., y Takahashi, K. 2014. Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010). Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 8-9.

Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.C., Vuille, M. and Lavado-Casimiro, W. 2017. Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. Int. J. Climatol. Doi:10.1002/joc.5185

Takahashi, K. 2017. Verificación de los pronósticos probabilísticos de El Niño y La Niña costeros. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 4 (8), 8-9.

Takahashi, K., Martínez, A. G. 2016. The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. Climate Dynamics, doi: 10.1007/s00382-017-3702-1.

Thoma, M., Greatbatch, R., Kadow, C., Gerdes, R. 2015. Decadal hindcasts initialized using observed surface wind stress: Evaluation and prediction out to 2024. Geophys. Res. Lett. doi:10.1002/2015GL064833

Comunicado oficial ENFEN



COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" - ENFEN

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 10-2019
Estado del sistema de alerta: No Activo¹

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el sistema de Alerta "No Activo", debido a que se observan, en promedio, condiciones neutras en la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana y considera más probable que dichas condiciones persistan hasta la primavera.

Se espera que hasta agosto continúe el arribo de ondas Kelvin cálidas pero sin mayores impactos en la costa peruana. Para el próximo verano, en el Pacífico central son más probables las condiciones Neutras (60%), seguidas de condiciones El Niño débil (22%); en tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2, que incluye la costa peruana) son más probables las condiciones Neutras (61%), seguidas de condiciones El Niño débil (18%).

Si bien por lo pronto no se observa la presencia de un evento El Niño o La Niña, es oportuno recomendar que se realicen las labores de prevención que permitan disminuir nuestra vulnerabilidad frente a estos fenómenos naturales.

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar la información oceanográfica, atmosférica, biológico-pesquera e hidrológica hasta la primera semana de julio de 2019, así como sus perspectivas.

La cobertura espacial de la anomalía positiva de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Central muestra una disminución respecto al mes anterior y el valor promedio en la región Niño 3.4 es de 0.6°C, mientras que en la región oriental (Niño 1+2, que incluye la costa peruana) las anomalías disminuyeron 0.4°C, respecto al mes de mayo.

Según el Índice Costero El Niño (ICEN) para mayo y el ICEN temporal (ICEN-tmp) para el mes de junio, las condiciones neutras persisten.

Las condiciones oceánicas y atmosféricas en el Pacífico ecuatorial, propias de un evento El Niño, muestran una tendencia hacia la normalización. Durante junio, la intensidad de la convección tropical en la región occidental del Pacífico se redujo respecto a meses anteriores. Las anomalías de vientos en niveles bajos y altos de la atmósfera se localizaron principalmente al este del Pacífico tropical. En esta región, cerca de la superficie, se observó una intensificación de los vientos alisios, mientras que en los niveles altos se registraron vientos del oeste más intensos. Por otro lado, recientemente, en niveles bajos, se observaron vientos anómalos del oeste en la región central proyectados desde la región occidental del Pacífico ecuatorial, como resultado de la actividad de ondas ecuatoriales atmosféricas.

La onda Kelvin cálida, que se generó a inicios del mes de mayo, experimentó un debilitamiento al acercarse a la

costa americana. Por otro lado, se observa la presencia de una onda Kelvin fría localizada entre 160° y 120°W. Los datos observacionales muestran el aparente desarrollo de una onda Kelvin cálida en la zona occidental, la cual se pudo generar por la presencia de pulsos de viento del oeste en dicha región a fines de junio.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se mantuvo, en promedio, anómalamente intenso al suroeste de su posición habitual. Este comportamiento ha sido desfavorable para el incremento sostenido de los vientos alisios frente al Perú. Sin embargo, periodos cortos de intensificación del viento costero estarían asociados al acercamiento episódico del APS hacia la costa, sumado a anomalías atmosféricas regionales alrededor de 90°W. Asimismo, de acuerdo a la información observacional, el viento costero (< 50 millas) y el afloramiento mostraron condiciones más débiles que lo normal, en particular frente a la costa central entre los 8° y 13°S, mientras que fuera de las 100 millas la intensidad del viento exhibió fluctuaciones asociadas a los pulsos de debilitamiento o intensificación del APS.

Las temperaturas extremas del aire en la costa peruana, en promedio, mostraron una tendencia hacia la normalización. Sin embargo, en algunos puntos de la región norte y centro se continuaron evidenciando anomalías positivas altas respecto a las temperaturas diurnas y nocturnas del aire, respectivamente.

A 250 millas de la costa, aproximadamente frente a Paita (5°S), sobre los 100 m de profundidad se observó la

¹ El Estado del Sistema de Alerta "No Activo" se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar.



IMARPE
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



IGP
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



Senamhi
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



DIHIDRONAV
DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



INDECI
INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL



ANA
Autoridad Nacional del Agua



CENEPRED
CENTRO NACIONAL DE ESTUDIOS Y PRONÓSTICOS DE FENÓMENOS DE FENÓMENO EL NIÑO

disminución de la temperatura desde la segunda quincena de junio alcanzando anomalías de hasta -3°C , las cuales están asociadas a aguas de mezcla. Por otro lado, desde la primera semana de julio, se presentó un ligero calentamiento sobre los 20 m de profundidad. Frente a la costa central (8°S) a 300 millas, el enfriamiento se mostró a fines de junio desde la superficie hasta los 100 m de profundidad, esto relacionado al repliegue de aguas oceánicas.

Dentro de las 100 millas de la costa, durante junio y frente a Paita, se observó un descenso de la temperatura del mar, con anomalías negativas de 1°C sobre los 50 m. Frente a Chicama, se presentaron anomalías positivas de 1°C sobre los 50 m relacionadas con la aproximación de aguas oceánicas a la costa fuera de las 30 millas, pero a nivel sub-superficial se detectó una elevación significativa de la isoterma de 15°C y de la oxiclina respecto al mes anterior. Esta aproximación de aguas oceánicas a la costa se observó hasta Pisco.

A 10 millas de la costa, en la primera semana de julio se registraron anomalías térmicas positivas en la columna de agua frente a Paita de hasta $+2^{\circ}\text{C}$, aunque frente a Chicama y Callao las condiciones térmicas se mantuvieron en el rango neutral. Respecto a la salinidad, estas indicaron aguas de mezcla de Callao hacia el norte y aguas propias del afloramiento costero frente a Atico ello.

Las anomalías de la TSM frente a la costa norte y centro del Perú disminuyeron hasta valores normales desde la segunda quincena de junio, mientras que frente a la costa sur las anomalías se mantuvieron dentro del rango normal. Por otro lado, el nivel del mar en el litoral durante el mes de junio, presentó valores de normales a ligeramente negativos, principalmente en el litoral centro y sur, mientras que en la primera semana de julio se observó un ligero ascenso.

La concentración de la clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton) en la capa superficial presentó una disminución respecto a meses anteriores de acuerdo a la estacionalidad, con algunos núcleos mesotróficos (entre 1 y 5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) frente a Paita; Chimbote, Pisco, Callao e Ilo.

En la región Norte-Centro, la anchoveta presentó una amplia distribución, abarcando desde Sechura (5°S) hasta San Juan de Marcona (15°S) dentro de las 40 millas de la costa; los indicadores reproductivos, continúan mostrando baja actividad desovante de acuerdo al patrón histórico.

Los principales ríos de las Regiones Hidrográficas del Pacífico y Titicaca, presentan en promedio un comportamiento descendente con caudales próximos a sus valores normales. En la Región Hidrográfica de Amazonas se observa un comportamiento descendente a excepción del río Napo, el cual muestra valores por encima de su caudal promedio. Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur se encuentran, en promedio, al 97% y 67% de su capacidad de almacenamiento, respectivamente.

Las temperaturas del aire favorecieron el inicio de instalación de almácigos de arroz en la región Piura así como la maduración y cosecha del olivo en Moquegua y

Tacna. Asimismo, las temperaturas mínimas estacionales vienen promoviendo la inducción floral del mango en la costa norte.

PERSPECTIVAS

Los modelos climáticos internacionales, para las regiones Niño (Figura 1), pronostican para el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4) y oriental (región Niño 1+2, la cual incluye la costa peruana) condiciones neutras desde julio 2019 hasta enero de 2020.

La Comisión Multisectorial ENFEN, a través del monitoreo y análisis de la información proporcionada por las instituciones que la conforman y la evaluación mediante el juicio experto de su grupo científico, considera que es más probable que hasta la primavera se mantengan las condiciones entre neutras a ligeramente frías frente a la costa peruana.

Debido a que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, durante el verano austral, el ENFEN proporciona una estimación de las probabilidades de ocurrencia de éstos para el próximo verano (diciembre 2019-marzo 2020). El análisis indica que para el Pacífico central (Niño 3.4) son más probables las condiciones Neutras (60%), seguidas de condiciones El Niño débil (22%); en tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2) son más probables las condiciones Neutras (61%), seguidas de condiciones El Niño débil (18%). Ver Tabla N°1 y Tabla N°2.

Por lo expuesto, la Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el Estado de Alerta de El Niño en "No Activo". No obstante, el ENFEN recomienda que las entidades competentes consideren siempre la vulnerabilidad para la preparación ante el riesgo y adopten las medidas que correspondan frente a un evento El Niño o La Niña. Considerando que en el periodo en el cual no se desarrolla El Niño o La Niña, es oportuno recomendar se realicen las labores de prevención.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones actuales y actualizando las perspectivas cuando sean requeridas.

La emisión del próximo comunicado ENFEN será el día 15 de agosto de 2019.

Callao, 12 de julio de 2019

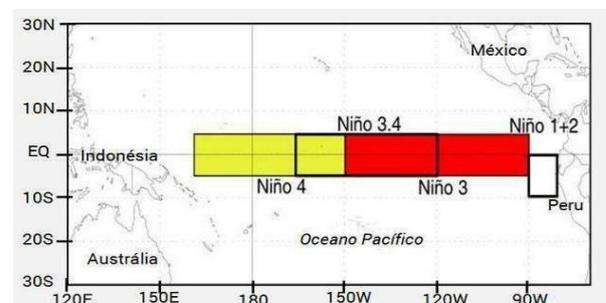


Figura 1. Áreas de monitoreo, Región Niño 3.4 (5°N - 5°S / 170°W - 120°W) y Región Niño 1+2 (0° - 10°S / 90°W - 80°W) Fuente: NOAA.



Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa,
Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: [511] 317 2300

<http://www.igp.gob.pe>

<http://www.facebook.com/igp.peru>

http://twitter.com/igp_peru

https://www.youtube.com/c/igp_videos

En el marco del:



EL PERÚ PRIMERO